

## DEVICE FOR MEASURING ACCELERATION

AD=AA

Patent number: WO8905459  
 Publication date: 1989-06-15  
 Inventor: BENECKE WOLFGANG (DE)  
 Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
 Classification:  
 - International: G01P15/08; G01P15/12  
 - European: B81C1/00F2D4B; B81C5/00A; G01P15/00D; G01P15/08A; G01P15/12D; G01P15/125  
 Application number: WO1988DE00740 19881201  
 Priority number(s): DE19873741036 19871203

## Also published as:

WO8905459 (A3)  
 EP0394305 (A3)  
 EP0394305 (A2)  
 US5065628 (A1)  
 DE3741036 (A1)

more &gt;&gt;

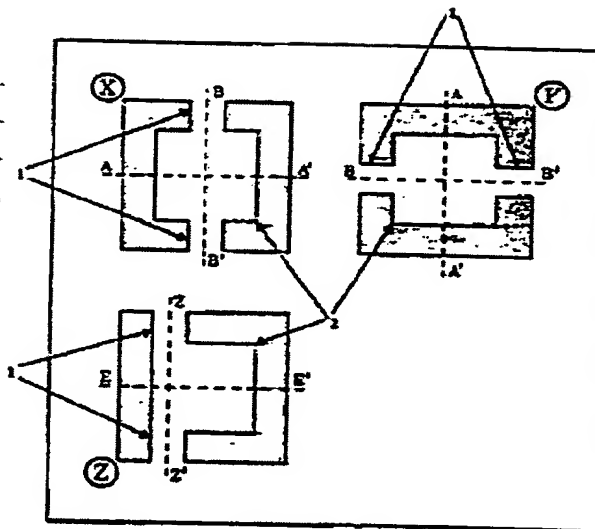
## Cited documents:

EP0301816  
 EP0244581  
 GB2101336

Abstract not available for WO8905459

Abstract of corresponding document: US5065628

PCT No. PCT/DE88/00740 Sec. 371 Date Jun. 4, 1990  
 Sec. 102(e) Date Jun. 4, 1990 PCT Filed Dec. 1, 1988  
 PCT Pub. No. WO89/05459 PCT Pub. Date Jun. 15, 1989. Disclosed is an instrument for measuring accelerations, with the aid of which changes in motion in the three axes of space can be measured with selective sensitivity. In order to detect multi-dimensional changes in motion, three micromechanical sensors, each sensitive to the acceleration in a selected direction, are integrated in a crystal. The sensors are composed of torsion bars having masses eccentrically attached thereto, which, in the event of changes in motion, exercise torques about the axes of the torsion bars. The torques are measured with the aid of integrated piezo-resistances. The planar integration of the acceleration meter permits integrating the evaluation circuit on the same semiconductor surface. Acceleration meters of this kind are fabricated with the prescribed process in planar technology with the aid of epitaxy, lithography and anisotropic etching methods. High precision and high miniaturization make this acceleration meter suited for application in overland and aviation navigation and for component positioning in robotics.



Best Available Copy

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

USPS EXPRESS MAIL  
 EV 511 024 267 US  
 DECEMBER 09 2004

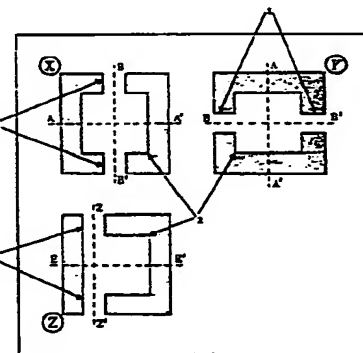
PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation 4 :</b>  <b>G01P 15/08, 15/12</b>	<b>A2</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 89/ 05459</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 15. Juni 1989 (15.06.89)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE88/00740 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 1. Dezember 1988 (01.12.88)  <b>(31) Prioritätsaktenzeichen:</b> P 37 41 036.9 <b>(32) Prioritätsdatum:</b> 3. Dezember 1987 (03.12.87) <b>(33) Prioritätsland:</b> DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstraße 54, D-8000 München 19 (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> BENECKE, Wolfgang [DE/DE]; Sigismundstraße 5, D-1000 Berlin 30 (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, KP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.  <b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>   <div style="text-align: center;">           USPS EXPRESS MAIL            EV 511 024 267 US            DECEMBER 09 2004         </div>	

**(54) Title: DEVICE FOR MEASURING ACCELERATION****(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR MESSUNG VON BESCHLEUNIGUNGEN****(57) Abstract**

A device for measuring acceleration is useful for measuring changes of motion with selective sensitivity along three coordinate axes. In order to determine multidimensional changes of motion, three micromechanical sensors each sensitive to the acceleration in a chosen direction are monolithically incorporated in a crystal. The sensors consist of torsion bars with eccentrically mounted masses which exert torques about the axes of the torsion bars during changes of motion. The torques are measured by means of piezoelectric resistors. The planar integration of the accelerometer makes it possible to incorporate the evaluation circuit on the same semiconductor surface. Also disclosed is a process for manufacturing these accelerometers by planar technology by means of the epitaxial, lithography and anisotropic engraving process. The high precision and high degree of miniaturization of the accelerometer make it particularly useful as a terrestrial and aerial navigational instrument and for positioning components by means of industrial robots.

**(57) Zusammenfassung**

Beschrieben wird eine Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen, mit deren Hilfe Bewegungsänderungen in den drei Raumachsen mit selektiver Empfindlichkeit gemessen werden können. Zur Erfassung mehrdimensionaler Bewegungsänderungen werden drei jeweils für die Beschleunigung in einer ausgewählten Richtung empfindliche mikromechanische Sensoren monolithisch in einem Kristall integriert. Die Sensoren bestehen aus Torsionsbalken mit exzentrisch angebrachten Massen, die bei Bewegungsänderungen Drehmomente um die Achsen der Torsionsbalken ausüben. Die Drehmomente werden mit Hilfe integrierter Piezowiderstände gemessen. Die planare Integration des Beschleunigungsmessers erlaubt es, die Auswerteschaltung auf derselben Halbleiteroberfläche zu integrieren. Mit dem angegebenen Verfahren werden solche Beschleunigungsmesser in Planartechnologie unter Zuhilfenahme von Epitaxie, Lithographie und anisotropen Ätzmethoden hergestellt. Durch hohe Präzision und hohen Miniaturisierungsgrad eignet sich der Beschleunigungsmesser zur Verwendung in der Navigation im Land- und Luftfahrtbereich und zur Bauteilepositionierung in der Robotik.

## Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen

### Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen, bei welcher die Wirkung einer Beschleunigung auf eine träge Masse gemessen wird. Insbesondere bezieht sie sich auf eine Vorrichtung, die mit Hilfe der Mikrostrukturtechnik herstellbar ist. Die träge Masse wird bei solchen Vorrichtungen mit den in der Mikrostrukturtechnik üblichen anisotropen Ätzverfahren gefertigt. Die mechanische Wirkung der Beschleunigung wird in ein elektrisches Signal umgewandelt, das einer Auswerteschaltung zugeführt wird.

### Stand der Technik

Mikromechanische, integrierte Beschleunigungssensoren, mit deren Hilfe nicht zwischen Beschleunigungen in den drei Raumachsen unterschieden werden kann, sind in einigen Veröffentlichungen beschrieben. Zum Beispiel: Davison, J.L., Kerns, D.V. "Silicon Acceleration Technology", in: Proceedings of the 1986 International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation", IEEE, New York 1986, S. 218 - 222. Die einzelnen Sensoren werden in Planaar-Technologie aus Silizium gefertigt. Um Beschleunigungen in den drei Raumachsen messen zu können, müssen drei

Einzelelementen in Hybridmontage angeordnet und aufeinander abgestimmt werden, wodurch die erreichbare mechanische Präzision und der Miniaturisierungsgrad beschränkt werden.

Eine Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen mit Auflösung der drei Raumrichtungen ist aus der englischen Patentanmeldeschrift GB 2 174 500 A bekannt. Bei dieser Vorrichtung sind die Sensorelemente nicht in einer gemeinsamen Kristalloberfläche, sondern auf der Vorder- bzw. Rückseite des Substrats angeordnet. Daraus ergibt sich die schwierige Aufgabe der elektrischen Verknüpfung der verschiedenen Sensorelemente, die in dieser Schrift durch Drahtverbindungen bzw. geätzte Durchgangslöcher mit Leiterbahnen gelöst werden soll. Bei der Herstellung müssen dafür viele Prozeßschritte aufgewendet werden.

#### Beschreibung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen anzugeben, mit deren Hilfe zwischen Beschleunigungen in den drei Raumachsen unterschieden werden kann, die eine hohe selektive Empfindlichkeit bezüglich der drei Raumachsen aufweist und die mit einer möglichst geringen Zahl von Prozeßschritten herstellbar ist.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst, und durch ein Verfahren zu seiner Herstellung, das im Anspruch 9 gekennzeichnet ist.

Durch die planare Integration von drei Sensorelementen für die drei Raumachsen in einer Kristalloberflächenschicht, wird ein hoher Miniaturisierungsgrad und eine hohe mechanische Präzision erreicht. Gleichzeitig bietet diese Lö-

sung die Möglichkeit, die Sensorelemente mit einem elektronischen Auswerteschaltkreis zu verknüpfen, der auf demselben Substrat integriert werden kann.

Mit der hohen Präzision und den geringen Abmessungen ist die erfindungsgemäße Vorrichtung besonders für die Erfassung mehrdimensionaler Bewegungsabläufe in der Luftfahrt, im Landverkehr, in der Robotik und im biomedizinischen Bereich einsetzbar.

In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung gekennzeichnet.

Bei einer Weiterbildung nach Anspruch 2 stehen die Richtungen der Empfindlichkeiten annähernd senkrecht aufeinander. Dadurch kann eine beschleunigende Kraft, die in eine beliebige Raumrichtung wirkt, einfach in die drei senkrechten Komponenten eines vorgebbaren kartesischen Koordinatensystems zerlegt werden.

Besonders vorteilhaft ist eine Ausführung nach Anspruch 3, bei welcher die Rückstellelemente als Torsionsbalken ausgebildet sind, da ein Torsionsbalken mit exzentrisch angebrachter träger Masse auf einfache Weise eine Vorzugsrichtung für die Empfindlichkeit eines Sensors festlegt. In den Ansprüchen 4 und 5 wird eine Ausführung beschrieben, die durch Verwendung von sehr gebräuchlichen Materialien der Halbleiterfertigung zu einer kostengünstigen Herstellung des Beschleunigungsmessers führt.

Eine beschleunigende Kraft führt zur Auslenkung der trägen Masse und damit zu einer mechanischen Spannung im Torsionsbalken, die als Maß für die beschleunigende Kraft herangezogen wird. Nach Anspruch 6 wird die mechanische Span-

nung in den Torsionsbalken mittels integrierter Widerstände unter Nutzung des piezoresistiven Effektes in Silizium: erfaßt. Diese Ausgestaltung läßt sich mit den üblichen Methoden der Halbleitertechnologie (z.B. Ionenimplantation) verwirklichen. Sie bietet den Vorteil, daß die elektrischen Kontakte der integrierten Widerstände aller Sensorelemente in einer Ebene angeordnet sind. Nach Anspruch 7 wird in derselben Oberfläche ein Schaltkreis zur Auswertung der elektrischen Signale integriert. Die Sensorelemente und der Auswerteschaltkreis können dann durch einfache Leiterbahnen elektrisch miteinander verbunden werden.

Für besonders große Meßempfindlichkeit eignet sich die Ausgestaltung nach Anspruch 8, nach der die mechanische Spannung mittels kapazitiver Signalwandlung indirekt bestimmt wird. Hierzu können beispielsweise Bereiche der Oberflächen der trägen Massen mit Metallschichten versehen werden, die mit unbeweglichen, gegenüberliegend angeordneten Metallplatten Kondensatoren mit variabler Kapazität darstellen. Da die Kapazität dieser Kondensatoren von der Auslenkung der trägen Masse abhängt, stellt sie ein Maß für die beschleunigende Kraft dar.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Ein Ausführungsbeispiel wird nachfolgend unter Benutzung der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Zur besseren Veranschaulichung sind die Zeichnungen nicht maßstabsgetreu.

Es zeigen:

Fig. 1     drei planar monolithisch integrierte Beschleunigungssensoren in schematischer Darstellung der Aufsicht,

- Fig. 2 einen Schnitt durch die in Fig. 1 mit AA' bezeichneten Ebene,
- Fig. 3 eine räumliche Darstellung des in der Ebene AA' geschnittenen Sensorelementes,
- Fig. 4 einen Schnitt durch die in Fig. 1 mit BB' bezeichneten Ebene,
- Fig. 5 einen Schnitt durch die in Fig. 1 mit ZZ' bezeichneten Ebene,
- Fig. 6 einen Schnitt durch die in Fig. 1 mit EE' bezeichneten Ebene und
- Fig. 7 eine schematische Darstellung des Ablaufes des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für einen Beschleunigungsmesser gemäß Fig. 1.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

Die erfindungsgemäße Anordnung besteht aus zwei identischen, um 90° gegeneinander verdrehten Sensorelementen, die in Fig. 1 mit X und Y bezeichnet sind und zur Detektion von Beschleunigungen in der Zeichenebene dienen, und einem Sensorelement Z, welches auf Bewegungsänderungen senkrecht zur Zeichenebene reagiert. Jedes Sensorelement setzt sich aus einer trägen Masse, auf welche die beschleunigende Kraft einwirkt einem Rückstellelement und einem Umwandler zur Umwandlung der mechanischen Wirkung in ein elektrisches Signal zusammen. Die Rückstellelemente der drei Sensoren sind Torsionsbalken 1, deren Drehachsen d im Falle der Sensorelemente X und Y in der Schnittebene BB' liegen und im Falle des Sensorelementes Z in der Schnittebene ZZ'. Die Torsionsbalken 1 tragen jeweils eine

träge Masse 2, deren Schwerpunkt weit außerhalb der Drehachse  $d$  liegt. Die Anordnung der trägen Massen 2 der identischen Sensorelemente X und Y ist in den Schnittzeichnungen Fig. 2, Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt und in Fig. 5 und Fig. 6 für das Sensorelement Z, wobei die Schnittebenen entsprechend den Festlegungen in Fig. 1 verlaufen. Die trägen Massen 2 der Sensorelemente X und Y sind aus freigeätzten Teilen des Wafersubstrates 3 und der Epitaxieschicht 4 zusammengesetzt und erstrecken sich über die gesamte Dicke (etwa 500  $\mu\text{m}$ ) des Wafers, während die träge Masse des Sensorelementes Z (Fig. 6) nur aus einem freigeätzten Teil der Epitaxieschicht 4 besteht, um eine selektive Empfindlichkeit ausschließlich senkrecht zur Wafer-Oberfläche zu gewährleisten.

Durch die exzentrische Lage des Massenschwerpunktes üben die Massen 2 bei Bewegungsänderungen Drehmomente um die Torsionsachsen  $d$  aus. Die wirkenden Drehmomente werden durch Messung der mechanischen Spannungen in den Torsionsbalken 1 bestimmt. Hierzu werden im Bereich der Torsionsbalken mit Hilfe der Ionenimplantation Piezowiderstände  $p$  als mechanisch-elektrische Umwandler integriert (Fig. 3).

Eine oben beschriebene, mikromechanische, integrierte Anordnung zur Messung von Beschleunigungen ist nach Anspruch 9 durch ein anisotropes Ätzverfahren herstellbar, dessen Ablauf in Fig. 7 schematisch dargestellt ist. Das Ausgangsmaterial in Fig. 7A besteht aus einem p-dotierten Silizium-Wafer 3 (in 100)-Orientierung, auf dessen Vorderseite eine etwa 10  $\mu\text{m}$  dicke n-Epitaxieschicht 4 und anschließend auf Vorder- und Rückseite passivierenden Schichten 5 aus Silizium-Nitrid abgeschieden werden. Unter Zuhilfenahme der Fotolithographie, der Ionenimplantation



und der Diffusion werden auf der Wafer-Vorderseite Piezowiderstände zur Signalwandlung hergetellt. Auf Wafer-Vorder- und Rückseite werden daraufhin mit Hilfe der Fotolithographie die Strukturen der Beschleunigungssensoren aufgebracht und aus der Passivierungsschicht herausgeätzt Fig. 7B. Die Breite der Torsionsbalken beträgt etwa 60 bis 100  $\mu\text{m}$ , die der Massen einige hundert Mikrometer. Auf die Vorderseite wird eine Metallschicht 6 aufgebracht und der Wafer von der Rückseite her in einer  $\text{KOH-H}_2\text{O}$  Ätzlösung elektrochemisch geätzt, siehe Fig. 7C. Der Ätzvorgang stoppt selbständig am pn-Übergang. Nach beendeter Ätzung wird die Wafer-Rückseite passiviert und die Metallschicht 6 von der Vorderseite entfernt. Eine anisotrope Ätzung der Wafer-Vorderseite 4 vervollständigt die Struktur der Sensorelemente, siehe Fig. 7D. Schließlich werden die Passivierungsschichten 5 der Waferoberflächen entfernt. Mit Hilfe dieses Verfahrens können gleichzeitig mehrere hundert Vorrichtungen zur Messung von Beschleunigungen auf einem Siliziumwafer hergestellt werden.

In einer hier nicht näher beschriebenen Ausgestaltung des Verfahrens werden die Sensorstrukturen mittels Röntgentiefenlithographie und galvanischer Abformung hergestellt.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen, mit Sensoren, die aus einer trägen Masse, einem Rückstellelement und einem mechanisch-elektrischen Umwandler bestehen und mittels mikromechanischer Verfahren herstellbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß drei jeweils für die Bewegung in einer Richtung empfindliche mikromechanische Sensoren in einer Kristalloberflächenschicht integriert sind, daß die Integration in planarer Technologie erfolgt und daß die drei Richtungen der Empfindlichkeiten der Sensoren in unterschiedliche Richtungen weisen und nicht in einer Ebene liegen.
2. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die drei Richtungen der Empfindlichkeiten annähernd senkrecht aufeinander stehen.
3. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Rückstellelement jedes Sensors als Torsionsbalken ausgebildet ist, an dem eine träge Masse angebracht ist, deren Schwerpunkt weit außerhalb der Drehachse des Torsionsbalkens liegt.
4. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Torsionsbalken aus Silizium sind.
5. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das

Ausgangsmaterial der Vorrichtung ein Siliziumeinkristall ist.

6. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanisch-elektrischen Umwandler als piezoresistive Widerstände ausgebildet sind, die unter Nutzung des piezoresistiven Effektes in Silizium zur Messung mechanischer Spannungen in den Torsionsbalken integriert sind.
7. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente gemeinsam mit einem Auswerteschaltkreis auf derselben Kristalloberfläche integriert sind.
8. Vorrichtung zur Messung von Beschleunigungen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der mechanischen Spannungen in den Torsionsbalken indirekt, mit einer kapazitiven Methode erfolgt.
9. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
  - A.
    - Abscheiden einer halbleitenden Epitaxieschicht (4) mit Störstellen der einen Art auf einen mit Störstellen der anderen Art dotierten Silizium-Wafer (3) (pn-Übergang),

- 10 -

- Abscheiden einer passivierenden Schicht aus Silizium-Nitriden (5),
- Integration von Piezowiderständen.

B.

- Photolithographische Strukturierung der Wafer-Vorder- und -Rückseite,
- Ätzen der Passivierungsschicht (5).

C.

- Metallisierung der Wafer-Vorderseite (6),
- anisotropes elektrochemisches Ätzen der Wafer-Rückseite in einer KOH-H<sub>2</sub>O Ätzlösung, wobei der Ätzvorgang am pn-Übergang selbständig stoppt.

D.

- Passivierung der Wafer-Rückseite,
- Entfernen der Metallisierungsschicht von der Vorderseite,
- anisotropes Ätzen der Epitaxieschicht auf der Wafer-Vorderseite,
- Entfernen der rückseitigen Passivierungsschichten.

10. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß als passivierende Schicht in Verfahrensschritt A Siliziumoxid abgeschieden wird.
11. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die halbleitende Epitaxieschicht in Verfahrensschritt A durch eine Schichtenfolge ersetzt wird, bestehend aus einer hoch-bordotierten p- und einer niedrigdotierten Schicht.
12. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen, integrierten Beschleunigungsmessers nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorstruktur unter Zuhilfenahme von Röntgentiefenlithographie und galvanischer Abformung auf dem Substrat aufgebaut wird.

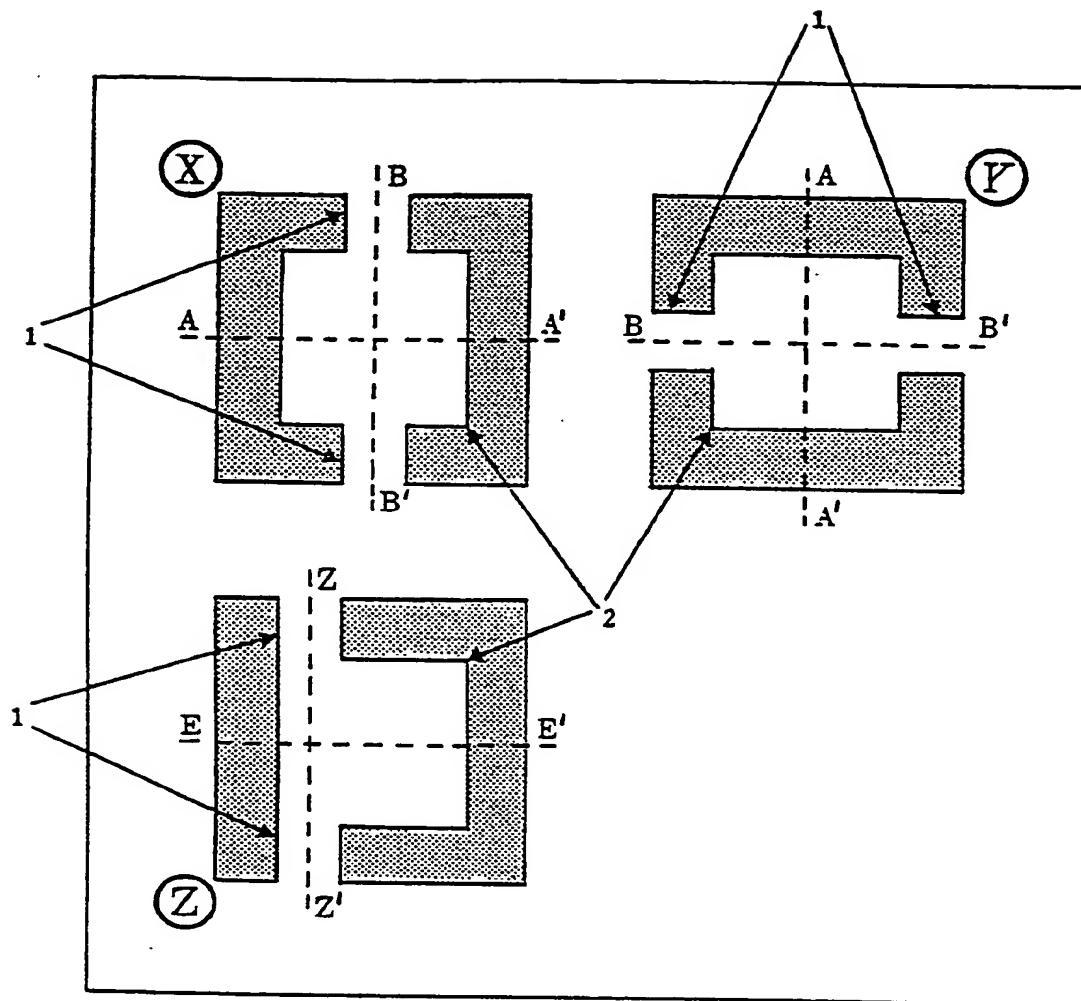


Fig. 1

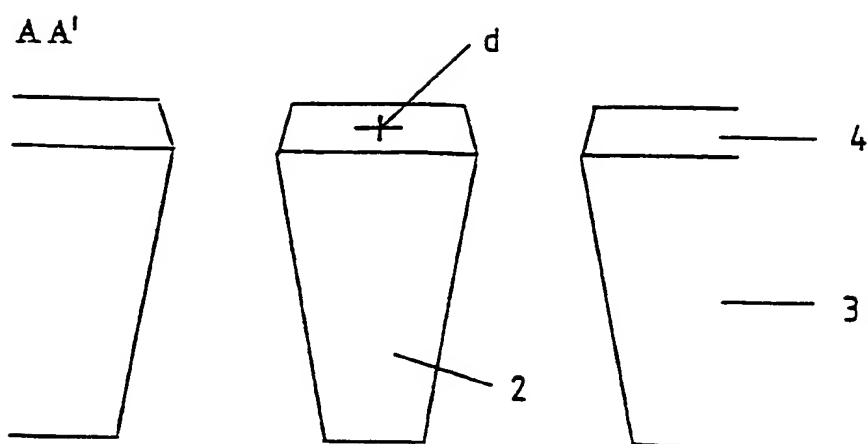


Fig. 2

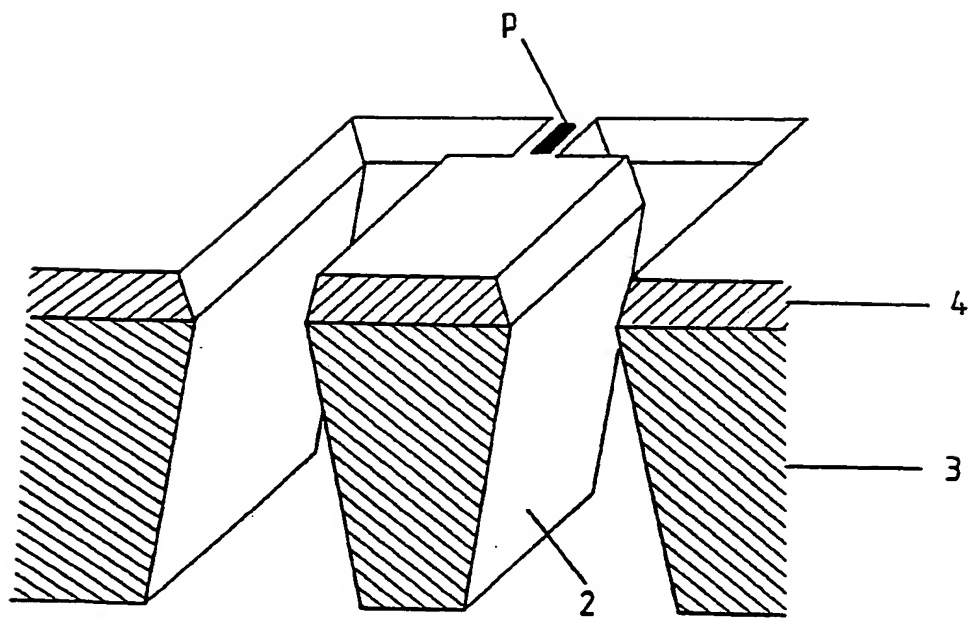


Fig. 3

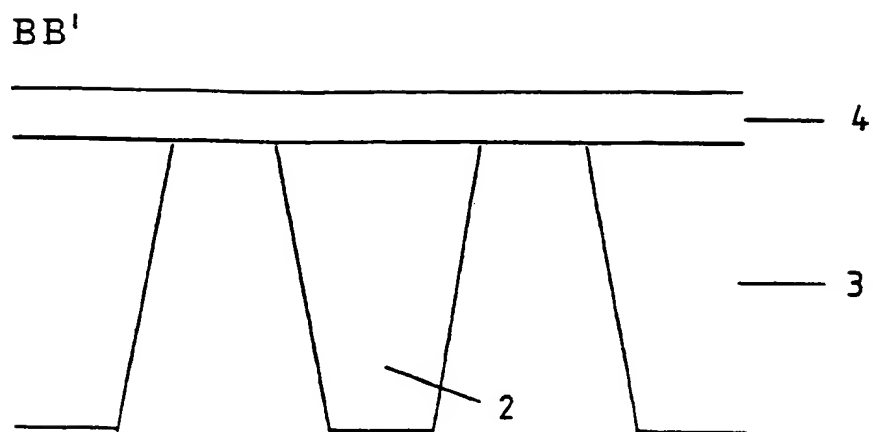


Fig. 4



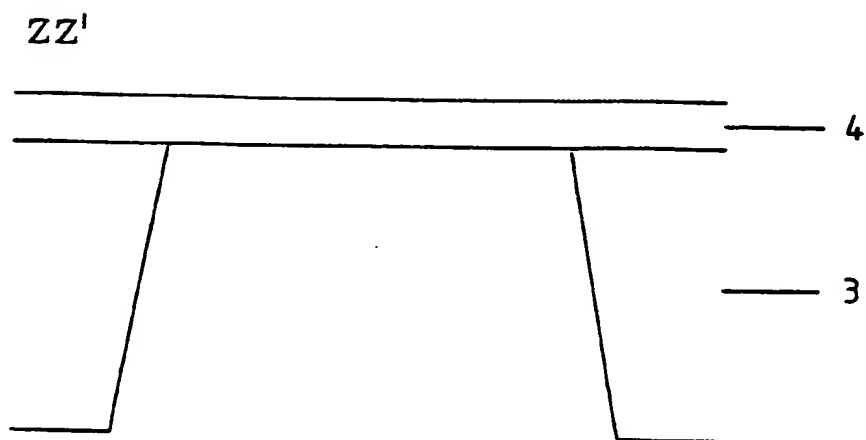


Fig. 5

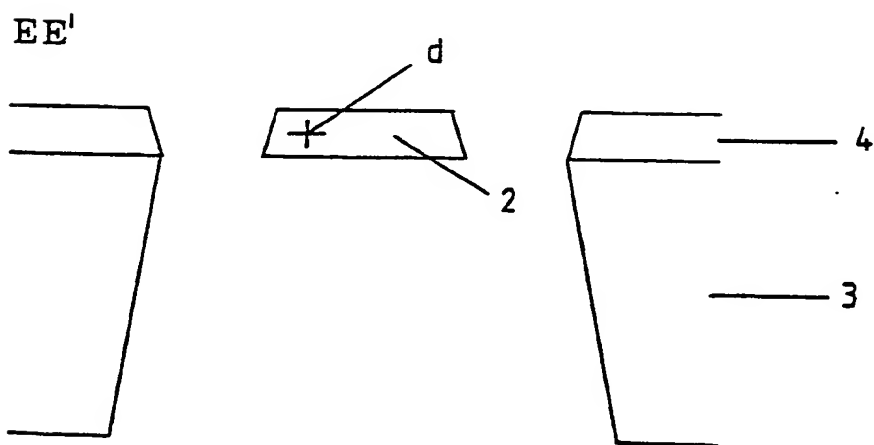


Fig. 6

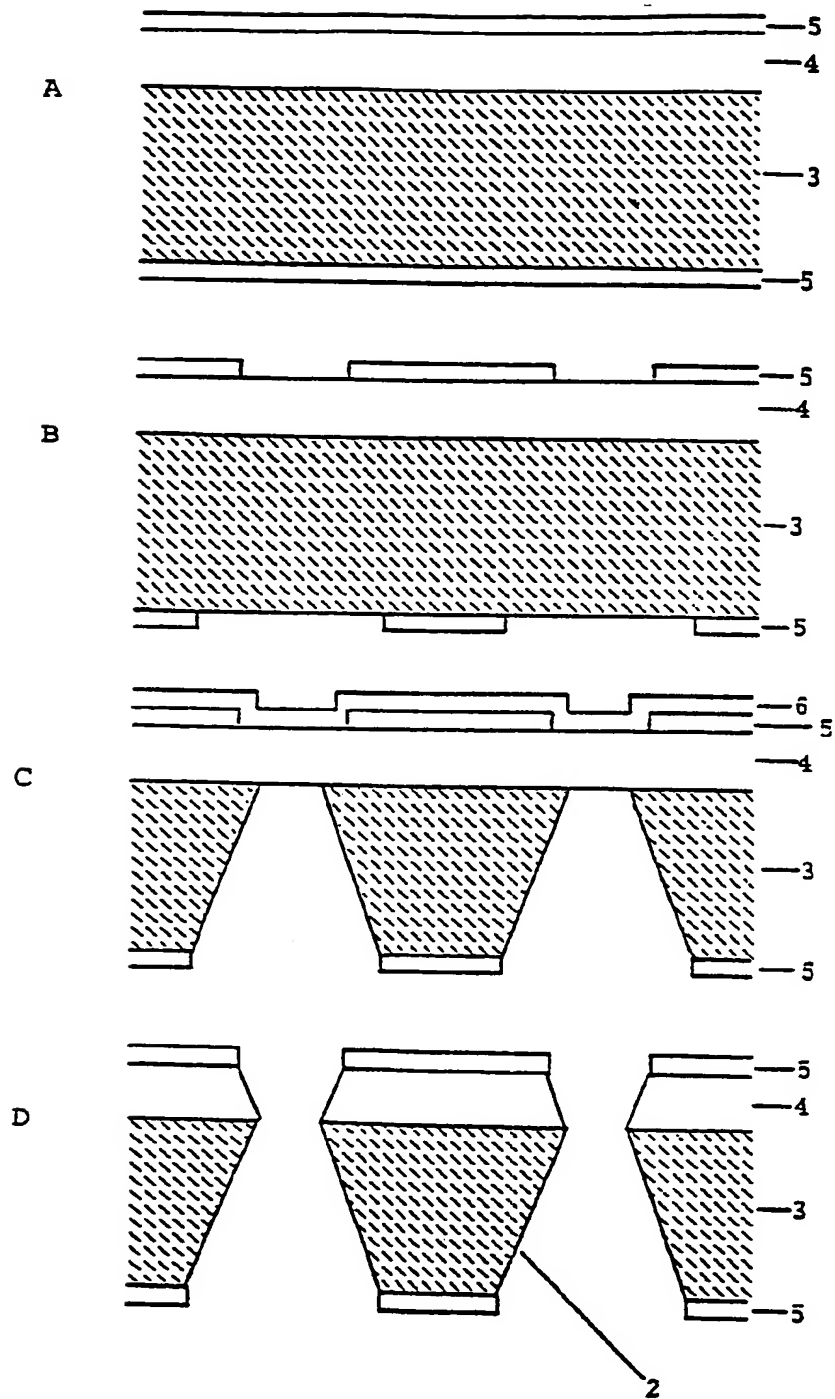


Fig. 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**